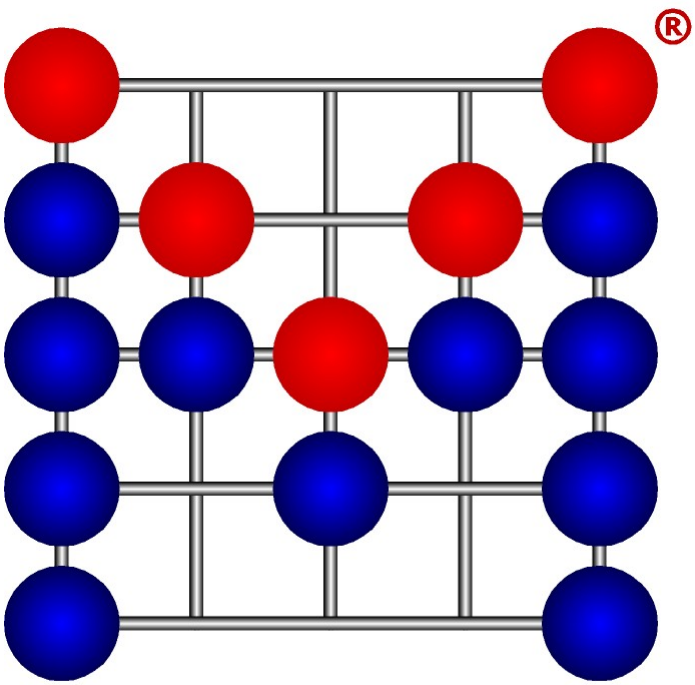


Dynamisches Propellerauswuchten

IDS Innomic Gesellschaft für Computer- und Messtechnik mbH

Auswuchten mit VibroMatrix

Version 1.4.0.28, 30.03.2007
Autor Dipl.-Ing. Thomas Olschewski
IDS Innomic Gesellschaft für Computer- und Messtechnik mbH
Zum Buchhorst 25
D-29410 Salzwedel

© 2003 – 2006 Alle Rechte vorbehalten. Vervielfältigung auch auszugsweise nur mit Genehmigung der IDS Innomic GmbH.
VibroMatrix®
InnoBeamer®
InnoMaster®
InnoStreamMachine®
InnoMeter®
InnoLogger®
InnoPlotter®
InnoAnalyzer®
InnoScope®
InnoBalancer®
sind eingetragene Marken der IDS Innomic GmbH

Windows®
ist eingetragene Marke der Microsoft Corporation

Trotz sorgfältiger Bearbeitung können wir Fehler in diesem Handbuch nicht ausschließen. Wir lehnen hiermit jegliche Gewährleistung und Bedingungen in Bezug auf diese Informationen hinsichtlich Tauglichkeit, Eignung für einen bestimmten Zweck und Nichtverletzung ab. In keinem Fall können die IDS Innomic GmbH und/oder deren Lieferanten haftbar gemacht werden für besondere oder indirekte Schäden, Folgeschäden oder sonstige Schäden, die aus Nutzungsausfall, Verlust von Daten oder entgangenem Gewinn resultieren - sei es bei vertragsgemäßer Nutzung oder durch Nachlässigkeit oder sonstige unerlaubte Handlung - und durch die oder im Zusammenhang mit der Verwendung von in diesem Handbuch verfügbaren Informationen entstanden sind.

Inhaltsverzeichnis

1.Einleitung....4

2.Einige Grundlagen....5

Unwucht – na und?....5
Unwucht und Schwingungen – wie hängt das zusammen?....5
Was ist nun Unwucht?....5
Unwuchtarten....8

3.Auswuchten mit VibroMatrix....9

3.1.Die Messelektronik....9
3.2.Das Messprogramm zum Auswuchten....9
3.3.Messanordnung für das Auswuchten....10
3.4.Messablauf....11
3.5.Beseitigung einer Unwucht....11
3.6.Tipps für die Auswuchtpraxis....13

4.Propeller auswuchten....14

4.1.Vorbereitungen....14
4.2.Sensoren befestigen....14
4.3.Sensorleitungen verlegen....15
4.4.Im Cockpit....15
4.5.Urunwuchtlauf....16
4.6.Kalibrierlauf....16
4.7.Der Ausgleich....18
4.8.Der Kontrolllauf....19

1. Einleitung

Wir freuen uns, Sie als neuen VibroMatrix Nutzer begrüßen zu dürfen. Sie haben eine leistungsfähige, ausbaubare und kosteneffiziente Lösung zum Auswuchten erworben.

Die eingesetzte Präzisionselektronik erlaubt ein Auswuchten Rotoren vielfältiger Art. Die Produkte reichen von cent-kleinen Motoren bis zu tonnenschweren Generatoren.

Die Auswuchtsoftware InnoBalancer läuft auf Ihrem Notebook, führt Sie durch den Messablauf und präsentiert übersichtlich die Messergebnisse in numerischer und grafischer Form.

Dieses Handbuch zeigt Ihnen, wie Sie VibroMatrix zum Auswuchten Ihrer Rotoren effizient einsetzen.

- Einige Grundlagen erläutern anfangs das Wesen der Unwucht und die Messmethoden.
- Danach erfahren Sie, wie VibroMatrix Sie mit der InnoBalancer Software bei der Bestimmung und der Beseitigung von Unwuchten unterstützt.
- Praxisbeispiele für das Auswuchten verschiedener Rotoren geben Ihnen wertvolle Hinweise für den Alltagseinsatz. Den Anfang macht das Propellerauswuchten.

Die neueste Version dieses Handbuches finden Sie auf www.innomic.de .

Für Anregungen, Kritik und Wünsche stehen wir gern zur Verfügung. Und nun – viel Erfolg mit VibroMatrix.

Salzwedel, 30.03.2007 *VibroMatrix Entwicklungsteam*

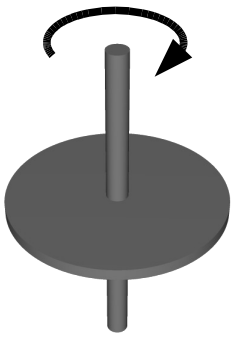
2. Einige Grundlagen

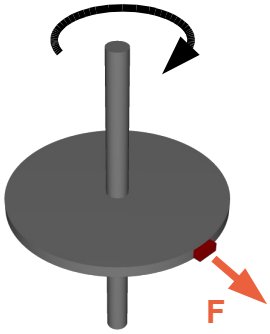
Unwucht – na und?

Warum interessiert überhaupt die Thematik Unwucht? Weil eine Unwucht an einem rotierenden Körper Schwingungen verursacht. Diese sind meist störend und sollen beseitigt werden. Selten sind sie gewollt, z.B. bei Rüttelplatten. Mit einer Bestimmung der Unwucht erreicht man beides – ihre Verringerung oder ihre Einstellung auf ein bestimmtes Maß.

Unwucht und Schwingungen – wie hängt das zusammen?

Schauen wir auf einen scheibenförmigen Rotor. Es soll sich um eine dünne, starre, homogen aufgebaute, ideal runde und zentrisch montierte Scheibe handeln. Wird sie in Rotation versetzt, wirken Fliehkräfte – das kennt jeder vom Karussell. Dennoch wirken auf die Welle keine Kräfte in radialer Richtung. Der Grund: Bei unserem Rotor heben sich die Fliehkräfte aller Masseteilchen auf.



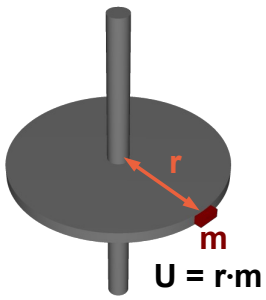


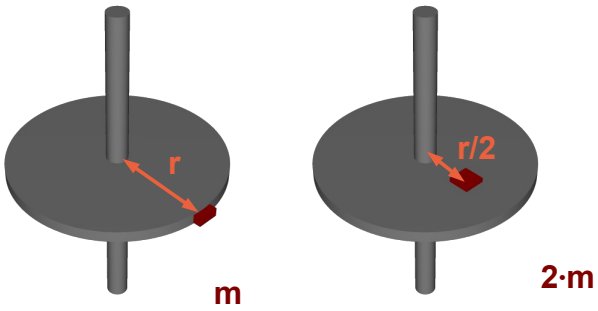
Nun fügen wir der Scheibe außen eine Masse hinzu. Wird der Rotor in Bewegung gesetzt, wirkt nun eine zusätzliche Fliehkraft in radialer Richtung, und damit auf die Welle. Diese befindet sich in einem Lager und die umlaufende Fliehkraft beansprucht das Lager periodisch. Schwingungen werden verursacht.

Ein Kennzeichen für Schwingungen, die durch Unwucht verursacht werden, ist eine Schwingfrequenz, die mit der Drehzahl des rotierenden Teils übereinstimmt.

Was ist nun Unwucht?

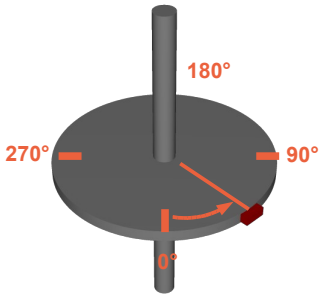
Unwucht und Masse hängen also ganz eng zusammen. Es beeinflusst aber nicht nur der Betrag der Masse die Fliehkraft, sondern auch ihr Abstand von der Drehachse (Radius). Dieselbe Masse näher an der Drehachse montiert würde weniger Fliehkräfte erzeugen. Der Betrag einer Unwucht errechnet sich daher aus Masse · Radius. Die Einheit ist oft gmm (Gramm Millimeter). Allein die Massen zu vergleichen, wenn man Unwuchten vergleichen möchte, ist also nur zulässig, wenn man den gleichen Radius zugrunde legt.



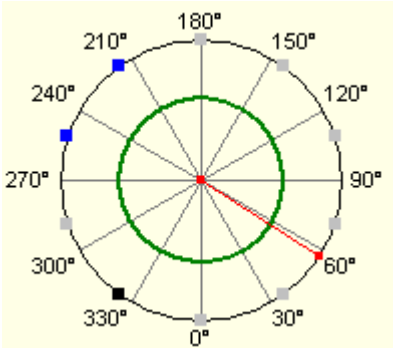


Beispiel

Diese beiden Unwuchten sind gleich groß, obwohl die Masse im rechten Bild doppelt so groß ist. Der Grund: Die Masse sitzt auf einem Radius, der nur die Hälfte des ersten beträgt.



Zum Auswuchten muss neben dem Betrag der Unwucht auch die Position bekannt sein.



Da Rotation eine kreisförmige Bewegung ist, wird eine Auswuchtebene auch als Kreisfläche dargestellt. Die Position einer Unwucht gibt man mit einem Winkel an, der 0 .. 360° betragen kann. Der Abstand von der Drehachse (Radius) gibt den Betrag der Unwucht an. Diese Darstellungsform findet sich auch im InnoBalancer wieder und nennt sich Polargrafik.

Ziel des Auswuchtens

Beim Auswuchten wird die Masseverteilung eines Rotors geprüft und anschließend dahingehend verbessert, dass die unwuchtbedingten Kräfte und Schwingungen innerhalb zulässiger Grenzen liegen. Durch Auswuchten wird ein schwingungsarmer Lauf einer Maschine erreicht, was zahlreiche positive Effekte in der Maschine nach sich zieht, u.a:

- Verbesserung der Produktqualität
- Verlängerung der Lebensdauer
- Verringerung von Lärm

Wann ist ein Rotor ausgewuchtet?

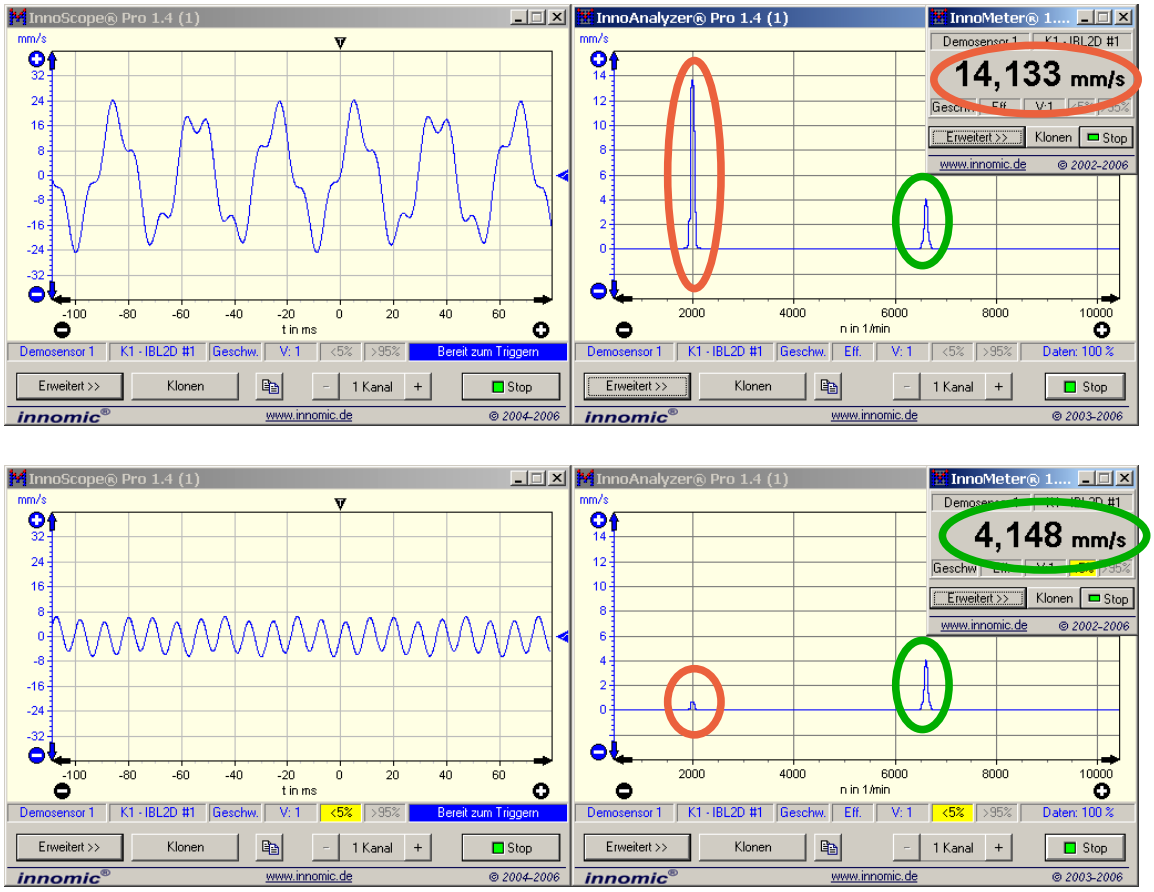
Theoretisch ist er ausgewuchtet, wenn die Unwucht gleich Null ist, der Schwerpunkt sich also wieder in der Drehachse befindet und sich alle Fliehkräfte aufheben. Praktisch ist dies nicht zu erreichen. Daher werden Toleranzen definiert. Wird die Toleranzschwelle unterschritten, gilt der Rotor als ausgewuchtet. Die Festlegung einer Toleranz kann auf verschiedene Weise geschehen. Wenn man die Festlegung nicht in der Hand hat, wird man sich nach den Vorgaben richten müssen.

1. Als Toleranz kann eine maximale Unwucht definiert werden. Die Überprüfung kann dann direkt mit dem InnoBalancer vorgenommen werden. Dieser blendet einen grünen Toleranzring in die Polargrafik ein. Eine Unwucht außerhalb des Kreises überschreitet die Toleranz, innerhalb wird sie eingehalten.
2. Als Toleranz kann eine maximale Masse definiert werden, die sich auf einen gegebenen Radius bezieht. Auch diese Überprüfung kann dann direkt mit dem InnoBalancer vorgenommen werden, weil er wahlweise Unwucht oder Masse anzeigen kann.
3. Bei rotierenden Maschinen wird oft die Auswirkung der Unwucht d.h. die verursachte Schwingung als Erfolgskriterium angesehen. Viele Hersteller definieren z.B. maximale Schwingstärken für ihre Anlagen nach DIN ISO 10816-2. Dort wird die Schwinggeschwindigkeit als Effektivwert im Frequenzbereich von 10..1000 Hz als Kennwert festgelegt. Dieser Wert lässt sich leicht mit dem VibroMatrix-Instrument InnoMeter überprüfen.

Bei der letzten Methode ist zu beachten, dass Unwucht am Rotor eine Ursache für Schwingungen sein kann, jedoch nicht die alleinige. Auch z.B. Lagerschäden können Schwingungen verursachen. Wie weiß man nun, ob unwuchtbedingte Schwingungen des untersuchten Rotors vorliegen oder nicht?

Jedes Schwingungssignal kann in einzelne Frequenzanteile zerlegt werden. Eine derartige Zerlegung zeigt der InnoAnalyzer an. Ein Beispiel: Ein Motor läuft mit 6600 1/min. Über ein Getriebe ist ein Propeller mit 1:3,3 untersetzt, läuft also mit 2000 1/min.

In der folgenden Grafik wird der Zustand vor und nach dem Auswuchten dargestellt. Das Zeitsignal wird von einem InnoScope angezeigt, die Frequenzanalyse führt der InnoAnalyzer durch. Das InnoMeter misst die Schwinggeschwindigkeit im Frequenzbereich 10 .. 1000 Hz (600 .. 60000 1/min).

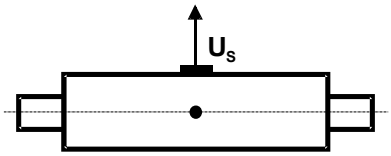


Im oberen Bild ist die Unwucht des Propellers noch dominant und bestimmt den größten Anteil der 14,133 mm/s Schwingstärke. Das untere Bild zeigt die Schwingungen nach dem Auswuchten. Die durch Propellerauswuchten verursachte Schwingung konnte unter 1 mm/s gebracht werden. Da jedoch die Schwingungen vor dem Getriebe durch das Auswuchten des Propellers nicht verändert werden, bestimmen diese nun die verbleibende Schwingstärke. Für eine weitere Verbesserung des Gesamtschwingungszustandes leistet das Propellerauswuchten nun keinen Beitrag mehr.

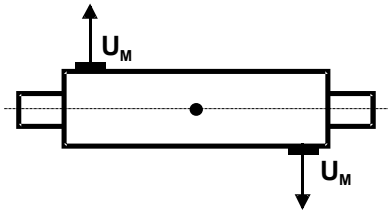
Unwuchtarten

Es werden zwei grundlegende Unwuchtarten unterschieden. Die erste Art wurde beim Scheibenrotor bereits erläutert.

1. Wird an einem vollkommen ausgewuchteten Rotor in der Radialebene seines Schwerpunktes eine Unwucht angesetzt, wird diese als **statische Unwucht** bezeichnet. Derartige Unwuchten waren bereits vor Jahrtausenden bekannt, z.B. bei Wasserrädern an Mühlen. Diese Unwuchten konnten durch Auspendeln auf Schneiden oder Rollen durch empirisches Ansetzen von Massen beseitigt werden. Für die Beseitigung der statischen Unwucht genügt die Messung in einer Auswuchtebene, also mit einem Schwingungssensor.

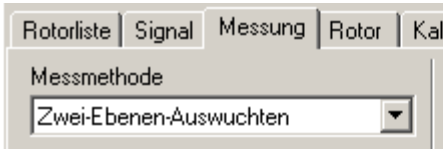


2. Damals unbekannt war die **Momentenunwucht**. Man entdeckte diese Unwuchtart mit den ersten schnell laufenden Maschinen. Zwei gleich große aber entgegengesetzt liegende Unwuchten in verschiedenen Radialebenen fallen bei Ruhe oder langsamen Drehzahlen nicht auf. Bei höheren Drehzahlen erzeugen sie jedoch ein Kippmoment. Für die Beseitigung der Momentenunwucht ist die Messung in zwei Auswuchtebenen, also mit zwei Schwingungssensoren erforderlich.



Meist treten Kombinationen aus beiden Unwuchtarten auf. Diese werden als **dynamische Unwucht** bezeichnet. Bei scheibenförmigen Rotoren kann der Anteil der Momentenunwucht meist vernachlässigt werden, hier genügt ein Beseitigen der statischen Unwucht. Alle anderen Rotoren sind vorzugsweise in 2 Ebenen auszuwuchten.

Der InnoBalancer kann sowohl statische Unwuchten als auch die Kombination aus statischer und Momentenunwucht, die dynamische Unwucht, beseitigen.[1]



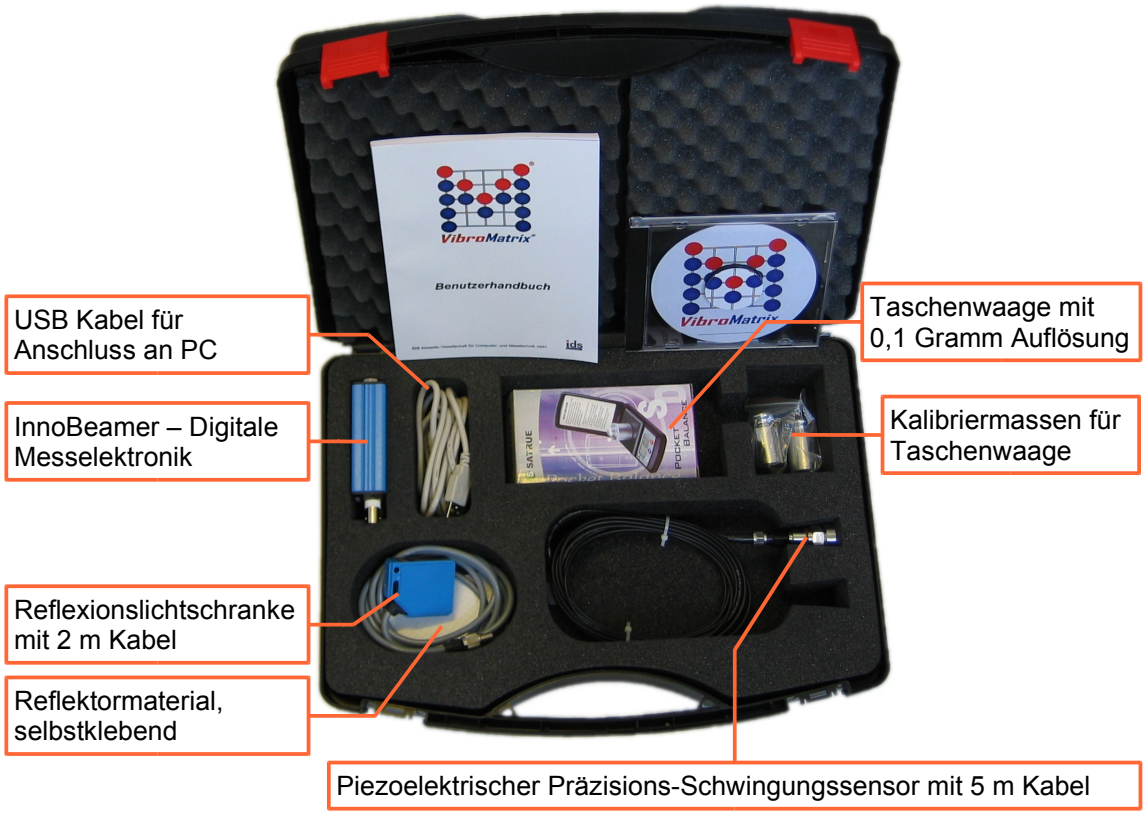
1 In der Luftfahrttechnik hat sich der Begriff „Dynamisches Auswuchten“ für einen Vorgang durchgesetzt, welcher das Auswuchten von Baugruppen in Rotation meint. Er soll eine Abgrenzung zum passiven Auspendeln von Rotoren herstellen. Auch das Auswuchten in einer Ebene, also die Beseitigung der statischen Unwucht wird dort als dynamisches Auswuchten bezeichnet, wenn das auszuwuchtende Objekt dazu aktiv in Rotation versetzt wird.

3. Auswuchten mit VibroMatrix

Das Messsystem VibroMatrix besteht aus abgestimmten Elektronik- und Programmkomponenten für die Schwingungsmessung, Schwingungsanalyse und Schwingungsreduktion durch Auswuchten.

3.1. Die Messelektronik

Der Messkoffer beinhaltet alle Komponenten für das Auswuchten. Für verschiedene Industriezweige ist er in unterschiedlichen Varianten erhältlich. Nachstehend findet sich die Grundausstattung für das Propellerauswuchten.

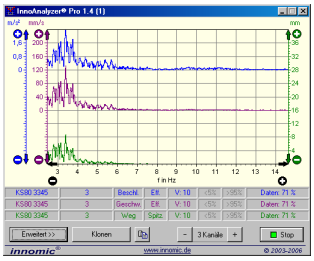


3.2. Das Messprogramm zum Auswuchten

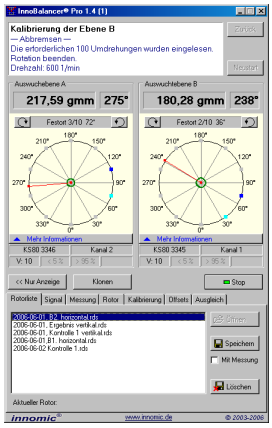
VibroMatrix ist ein modulares System zur Schwingungsmessung. Wie ein Baukasten beinhaltet es Komponenten, die allein arbeiten aber auch für komplexere Messaufgaben kombiniert werden können. Das Auswuchten übernimmt allein der InnoBalancer.

Ergänzende Messungen, wie z.B. eine Frequenzanalyse übernehmen andere Instrumente aus dem VibroMatrix System. Alle Instrumente können zeitgleich arbeiten und zeigen die gemessenen Daten sofort an (genannt Online- oder Echtzeitmessung).

Einige Instrumente aus dem weit gefächerten VibroMatrix System

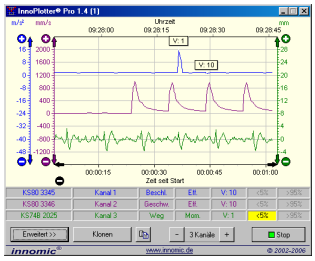


InnoAnalyzer für Frequenzanalyse



InnoBalancer zum Auswuchten

InnoMeter



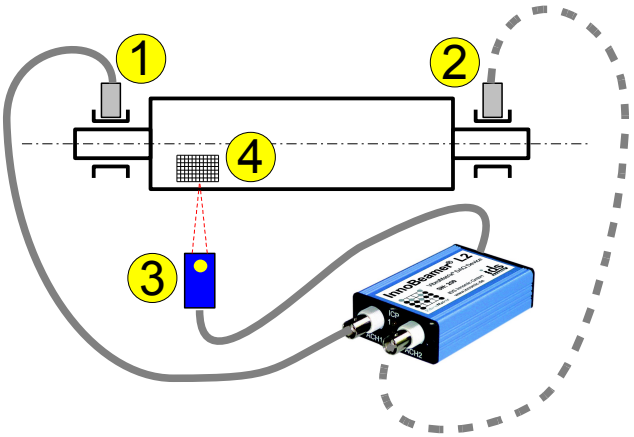
InnoPlotter für Langzeitmessung

Die Bedienung aller Instrumente wird im VibroMatrix Handbuch detailliert erläutert. Dort finden Sie auch den InnoBalancer.

3.3. Messanordnung für das Auswuchten

Eine direkte Messung der Unwucht gibt es nicht. Gemessen werden immer die Auswirkungen dieser Unwucht. Entweder werden die Fliehkräfte gemessen oder aber die durch umlaufende Fliehkräfte verursachten Schwingungen.

Um den Betrag der Unwucht zu bestimmen, werden bei VibroMatrix Beschleunigungsaufnehmer verwendet. Die Positionserfassung wird mit einer Reflexionslichtschranke berührungslos durchgeführt.



1 Schwingungssensor Auswuchtebene A
2 Schwingungssensor Auswuchtebene B (für Zwei-Ebenen-Messung)
3 Reflexionslichtschranke
4 Reflexionsfolie
5 InnoBeamer verbindet Sensoren mit PC
6 Zum PC mit InnoBalancer

Diese Schwingungssensoren werden vorzugsweise in der Nähe der Lagerebenen angebracht, wo die verursachten Schwingungen am besten abgegriffen werden können. Für das Ein-Ebenen-Auswuchten wird ein Sensor benötigt, für das Zwei-Ebenen-Auswuchten zwei.

Die Reflexionslichtschranke kann z.B. mit einem passenden Messstativ günstig positioniert werden. Eine Reflexionsmarke wird auf den Rotor geklebt. Vor dem Messlauf kann die korrekte Erfassung der Marke mittels einer aufleuchtenden LED auf der Lichtschranke geprüft werden.

Alle Sensoren werden direkt an den InnoBeamer angeschlossen und von ihm versorgt.

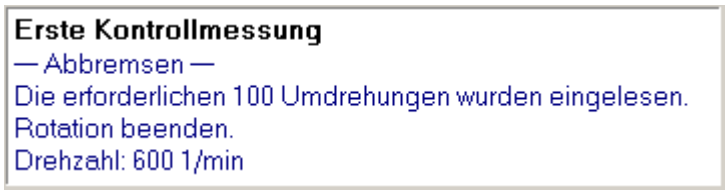
3.4. Messablauf

Die Auswirkungen der Unwucht werden mit 2 Messläufen erfasst:

1. **Urunwuchtlauf:** Zuerst werden die Schwingungssignale des Rotors im bisherigen Zustand aufgezeichnet.
2. **Kalibrierlauf:** Dann wird am Rotor eine bekannte Unwucht erzeugt. Dies geschieht durch das Anbringen einer Masse, deren Betrag und Anbringungswinkel bekannt sind. Auch die nun veränderten Schwingungssignale werden erfasst.[2]

Aus dem Vergleich der Messsignale von Urunwucht- und Kalibrierlauf errechnet der InnoBalancer die ursprünglich vorhandene Unwucht.

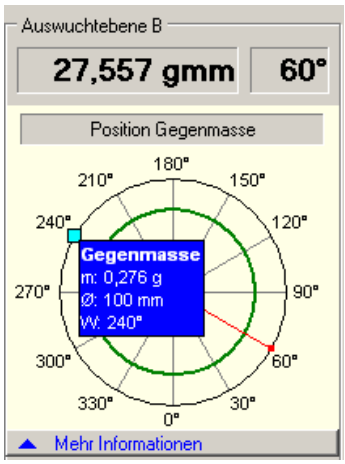
Nach dem Ausgleich wird eine Kontrollmessung empfohlen. Mit klaren Anweisungen führt der InnoBalancer den Anwender sicher durch den Messablauf.



3.5. Beseitigung einer Unwucht

Nach dem Feststellen der Unwucht wird diese beseitigt. Der Vorgang wird auch als Ausgleich bezeichnet. Das Ziel eines Ausgleichs ist es, die Masseverteilung wieder so einzustellen, dass es keine resultierenden Fliehkräfte mehr gibt. Das kann prinzipiell durch 2 Methoden geschehen:

- Entfernen von Masse an der Unwuchtposition.
- Zufügen von Masse gegenüber der Unwuchtposition.



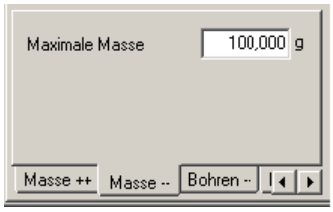
Für beide Methoden existieren mehrere technische Verfahren, welche auch vom InnoBalancer unterstützt werden. Die Software errechnet für jedes der Verfahren die entsprechenden Parameter und blendet die Ausgleichinformationen direkt in der Polargrafik ein.

Methoden zum Entfernen von Masse werden im InnoBalancer mit -- gekennzeichnet, die Methoden zum Hinzufügen von Masse mit ++.

Methoden zum Entfernen von Masse an der Unwuchtposition

Masse allgemein abnehmen

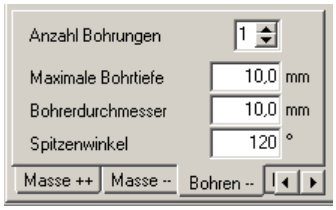
Diese Ausgleichmethode zeigt allgemein an, wieviel Masse an der Unwuchtposition abzunehmen ist. Als Parameter kann eine maximal abnehmbare Masse angegeben werden, falls es eine technologisch bedingte Grenze gibt.



2 Beim Auswuchten in 2 Ebenen werden 2 Kalibrierläufe durchgeführt, einer für jede Ebene.

Bohren in radialer Richtung

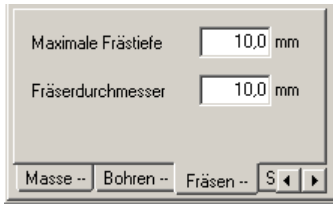
Aus vorgegebener Anzahl von Bohrungen, maximaler Bohrtiefe, Bohrerdurchmesser und Spitzenwinkel wird die tatsächliche Bohrtiefe bestimmt, welche für den Ausgleich erforderlich ist.



Die Dichte des Rotors spielt ebenfalls eine Rolle. Dieser Parameter wird in den Rotoreigenschaften definiert und ist auch für den Abtrag durch Fräsen von Bedeutung.

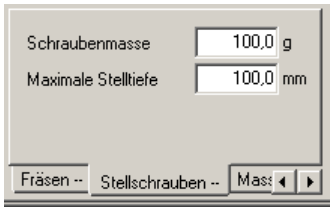
Fräsen

Aus vorgegebener maximaler Frästiefe sowie dem Fräserdurchmesser wird die tatsächliche Frästiefe bestimmt, welche für den Ausgleich erforderlich ist.



Stellschrauben

Stellschrauben werden in radialer Richtung bewegt. Vor dem Auswuchten werden sie in eine neutrale Stellung gebracht, d.h auf die Außenkante des Rotors gedreht. Angegeben werden Schraubenmasse und Stelltiefe. Der InnoBalancer berechnet die tatsächliche Verstelltiefe für die einzelnen Schrauben. Da diese Schrauben nur an festen Winkelpositionen vorzufinden sind, werden hier in den Rotoreigenschaften die Festorte definiert.

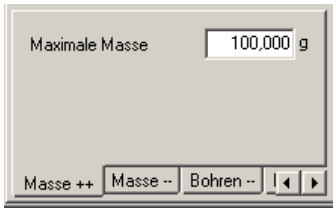


Methoden zum Zufügen von Masse gegenüber der Unwuchtposition

Masse allgemein hinzufügen

Diese Ausgleichmethode zeigt allgemein an, wieviel Masse gegenüber der Unwuchtposition anzusetzen ist. Als Parameter kann eine maximal hinzufügbare Masse angegeben werden, falls es eine technologisch bedingte Grenze gibt.

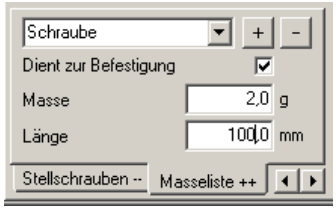
Das Anbringen der Masse, z.B. durch Schrauben, Kleben, Schweißen muss einen sicheren Sitz bei allen Drehzahlen gewährleisten, die im Betrieb durchlaufen werden.



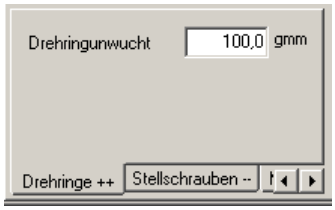
Masseliste

Oft ist es zeitsparender, fertige Massestücke derart zu kombinieren, dass die anzubringende Masse in der Summe erreicht wird. Der InnoBalancer ist in der Lage, eine optimale Kombination sehr schnell zu bestimmen, so dass aufwändiges Herumprobieren entfällt.

Die Eingabe einer Masseliste muss nur einmal erfolgen. Nähere Informationen finden sich im Benutzerhandbuch.



Drehringe



Bei dieser Ausgleichmethode befinden sich zwei gleichgroße Massen auf einem festen Radius und können in ihrer Winkelposition geändert und dort arretiert werden. Im Maschinenbau hat sich eine Ausführung als Drehringe entwickelt, bei vielen Generatoren gibt es dafür Nutsteine.

Vor dem Auswuchten werden die Drehringe in eine neutrale Stellung gebracht, d.h. 180° gegenüber positioniert. Dem InnoBalancer wird die Drehringunwucht mitgeteilt, er berechnet daraufhin die Spreizwinkel, die zum Ausgleich führen.

3.6. Tipps für die Auswuchtpraxis

- Die Messebenen sollten möglichst nahe den Lagerebenen liegen.
- Bei allen Messläufen ist die gleiche Drehzahl zu verwenden.
- Die Messanordnung muss bei allen Messläufen gleich bleiben, d.h. die Sensoren oder die Reflexionsfolie dürfen nicht versetzt werden.
- Bei VibroMatrix beziehen sich alle Winkel auf die Position der angebrachten Kalibriermasse. Wenn für die Position der Kalibriermasse 0° angegeben werden, kann diese Position gleich als Nullposition markiert werden, von der aus alle Winkel zu zählen sind.
- Die im InnoBalancer angegebenen Winkel sind am Rotor immer entgegen seiner Drehrichtung zu zählen.
- Nach dem Kalibrierlauf ist die Kalibriermasse zu entfernen.
- Nach dem Ausgleich wird ein Kontrolllauf empfohlen.
- Es kann ein schrittweises Vorgehen mit wiederholtem Kalibrieren notwendig sein.
- Mit dem InnoAnalyzer oder auch dem InnoMeter kann überprüft werden, ob das Gesamtschwingungsverhalten durch eine Unwucht oder durch andere Effekte bestimmt wird.

4. Propeller auswuchten

Das Auswuchten von Flugzeugpropellern sorgt für einen schwingungsarmen Betrieb. Die Lebensdauer von Maschinenteilen und Instrumenten wird erhöht, Lärm wird verringert, der Flugkomfort gesteigert. Die ganze Prozedur dauert bei etwas Routine nicht mehr als 30 Minuten.

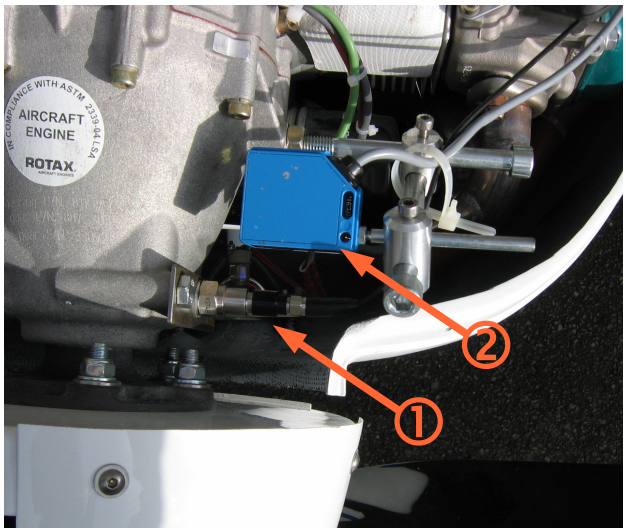
4.1. Vorbereitungen

Das Auswuchten findet am Boden statt. Da der Motor angelassen und der Propeller in Rotation versetzt wird, ist die Maschine ausreichend festzubremsen. Das Auswuchten kann von einer einzigen Person durchgeführt werden. Diese muss die Befähigung und die Erlaubnis haben, den Motor am Boden zu starten. Eine windarme Umgebung erhöht die Messgenauigkeit im Feinwuchtbereich erheblich. Ist eine derartige Umgebung nicht gegeben, sollte der Wind seitlich auf den Propeller treffen.

Schwingungsverursacher ist der unwuchtige Propeller. Um die von der Unwucht hervorgerufenen Schwingungen gut erfassen zu können, wird in der Nähe des Propellers gemessen. Eine günstige Ankopplung der Sensoren kann oft am Motor bzw. dem Getriebe erfolgen. Dazu ist die Haube zu entfernen.

4.2. Sensoren befestigen

Die Anbringung des Schwingungssensors (1) erfolgt in radialer Richtung zur Propellerachse. Eine Reflexionsmarke wird an die Grundplatte des Spinners geklebt und die Reflexionslichtschranke (2) darauf ausgerichtet. Es muss nicht das gesamte Reflexionsmaterial von 50 cm² verbraucht werden, ein kleines Stück genügt. Die Kantenabmessungen sollten aber 2 cm nicht unterschreiten.



Beide Sensoren sind ausreichend fest zu montieren, so dass sie sich bei rotierendem Propeller nicht lockern oder gar lösen. Sowohl Schwingungssensor als auch Reflexionslichtschranke weisen Befestigungsmöglichkeiten zum Schrauben auf. Der Schwingungssensor besitzt ein M5 Innengewinde im Boden. Die Reflexionslichtschranke besitzt Bohrungen und Innengewinde für M4 Schrauben. Durch einfache Adapter lassen sich beide Sensoren an unterschiedliche Motoren ankoppeln. Aufgrund der Vielfalt von Motoren sind Adapter nicht standardmäßiger Bestandteil des Lieferumfangs.

4.3. Sensorleitungen verlegen

Die kleine USB-Box InnoBeamer wird vorzugsweise im Cockpit positioniert. Sensorleitungen führen ihr die Signale zur Digitalisierung zu. Die Sensorleitungen sollten heiße Teile nicht berühren. Damit die Leitungen während des Propellerbetriebs nicht flattern, sind sie an geeigneten Stellen zu fixieren, bspw. mit Kabelbindern.

4.4. Im Cockpit

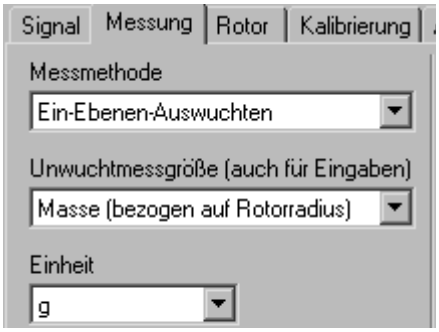
Auf dem Sitz des Copilots findet das Notebook ausreichend Platz. Im Fußbereich kann der InnoBeamer nebst angeschlossenen Kabeln verstaut werden. Der Schwingungssensor wird am Eingang ACh1 angeschlossen, die Reflexionslichtschranke am Eingang DCh.

Wenn das Notebook eingeschaltet wird, werden auch der InnoBeamer und die angeschlossenen Sensoren versorgt. Nun sollte noch einmal die Reflexionslichtschranke überprüft werden. Wenn sie die Reflexionsmarke erfasst, leuchtet eine gelbe LED in der Lichtschranke auf.

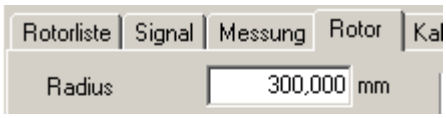
Das Kontrollzentrum InnoMaster RT kann nun auf dem Notebook gestartet werden. Falls noch kein Arbeitsplatz für das Propellerauswuchten konfiguriert wurde, sind einige Voreinstellungen zu tätigen. Für die nachstehenden Schritte hilft ein Blick ins Vibro-Matrix Handbuch.

1. In der Sensordatenbank sollte der mitgelieferte Sensor eingetragen werden.
2. Der Schwingungssensor wird mit dem Messkanal 1 des angemeldeten InnoBeamers verknüpft.
3. Die Auswuchtsoftware InnoBalancer wird gestartet.

Im InnoBalancer wären 2 Einstellungen vorzunehmen. Grundsätzlich kann dies jederzeit erfolgen, auch nach der Messung. Der InnoBalancer berechnet dann einfach alle Ergebnisse neu. Da wir hier aber sofort nach der Messung gültige Werte vorfinden wollen, ist nun eine gute Gelegenheit, die Daten einzutragen.



1. Als Unwuchtmessgröße wollen wir in diesem Dokument die auf einen festen Radius bezogene Masse in Gramm verwenden. Eine Unwucht wird oft als Masse x Radius angegeben. Wenn der Radius aber immer gleich bleibt - und in unserem Beispiel soll es so sein - dann kann auch die Masse allein betrachtet werden. Beim Propellerauswuchten ist diesbezüglich die Einheit Gramm passend.



2. Der Radius des Rotors ist einzugeben. Als Radius wird der Abstand von der Drehachse bis zu dem Umfang betrachtet, der für die Anbringung von Kalibrier-/Ausgleichmassen dient. Das kann z.B. die Grundplatte des Spinners sein (s. auch 4.6 S.17).

4.5. Urunwuchtlauf

Der erste Messlauf heißt Urunwuchtlauf. Der Propeller wird in seinem Urzustand mit seiner noch unbekannten Unwucht gemessen. Dazu wird eine konstante Drehzahl eingestellt, möglichst nahe dem Wert, mit dem die Maschine hauptsächlich betrieben wird.

Wenn sichergestellt ist, dass für Personen und Objekte in der Nähe der Maschine keine Gefahr besteht, kann der Motor gestartet werden. Vor der erstmalige Messung empfiehlt es sich, den Motor ein zwei Minuten warm laufen zu lassen. Das muss nicht unter Vollgas geschehen. Dann ist der Antrieb auf die konstante Drehzahl zu bringen.

Mit einem Klick auf die Taste "Start" im InnoBalancer wird die Drehzahlerkennung gestartet. Die Drehzahl wird oben in der Benutzerführung angezeigt. Sie sollte plausibel sein. Bei der Überschlagsrechnung ist die Untersetzung eines evtl. vorhandenen Getriebes zu berücksichtigen.

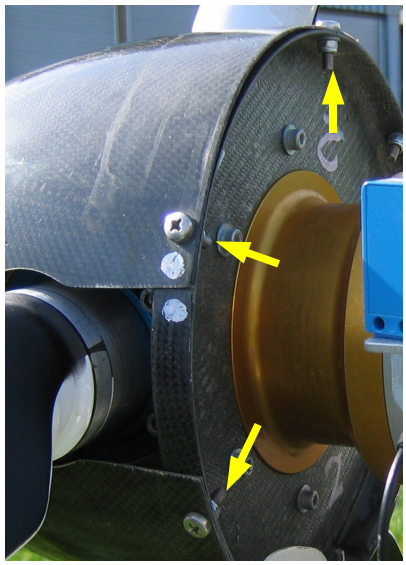
Nun ist einfach die Drehzahl konstant zu halten. Der InnoBalancer prüft fortlaufend die Drehzahlstabilität und führt die Messung erst bei konstanter Drehzahl durch. Auch während der Messung wird die Drehzahl überwacht. Schwankt die Drehzahl während der Messung zu stark, beginnt die Messung automatisch von neuem. Es wird eine bestimmte Anzahl von Umdrehungen lang eingelesen. Der Standardwert ist 100. Hat der InnoBalancer alle Umdrehungen eingelesen, informiert er in der Benutzerführung, dass der Motor nun ausgeschaltet werden kann. Damit ist der Urunwuchtlauf abgeschlossen.

4.6. Kalibrierlauf

Der zweite notwendige Messlauf dient zur Kalibrierung. An einer definierten Stelle wird eine bekannte Masse montiert. Spätestens jetzt sind Überlegungen zur Anbringung der Kalibrier- bzw. Ausgeichmasse angebracht.

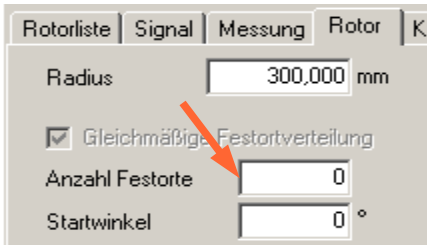
Anbringung von Kalibrier-/Ausgleichmassen am Propeller

Der Ausgleich der Unwucht wird vorzugsweise durch Anbringen von Massestücken erreicht, welche der Unwucht entgegenwirken. Die Anbringung erfolgt - sofern vorhanden - an der Grundplatte des Spinners. Ansonsten sind andere Stellen zu suchen, wo Massestücken (z.B. Unterlegscheiben) befestigt werden können, ohne den Propellerbetrieb zu stören. Je weiter man sich der Drehachse nähert, um so größer werden die Massen werden, die zum Ausgleich eingesetzt werden.



Beispiele für Festorte

Bis auf InnoBalancer Light bieten alle Versionen den Festortausgleich an. Wenn es am Propeller Befestigungspunkte für Massen gibt, die in regelmäßigen Abständen auf dem Umfang verteilt sind, kann der InnoBalancer dies berücksichtigen. Er wird dann eine Masseverteilung für eben nur diese Befestigungspunkte errechnen, welche auch eine Unwucht beseitigen, die zwischen den Befestigungspunkten liegt.

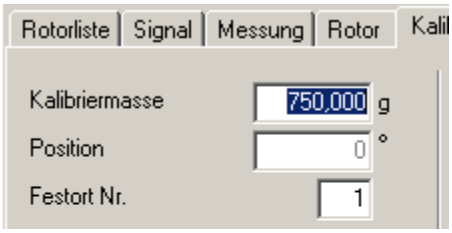


Dazu wird in den Rotoreinstellungen die Anzahl der Festorte eingegeben. Der Startwinkel sollte auf Null belassen werden. Dann liegt der erste Festort auf 0°.

Die minimale Anzahl von Festorten ist 3. Wird ein Wert kleiner 3 eingegeben, ist die Festortberechnung deaktiviert. Ausgleichmassen müssen dann an den von der Software vorgeschlagenen Winkeln befestigt werden. In diesem Fall können selbstklebende Massestücken, wie sie in der Automobilindustrie eingesetzt werden, Verwendung finden. Für den dauerhaften Sitz ist die Klebestelle geeignet vorzubereiten (von Fett und Schmutz reinigen). Eine zusätzliche Sicherung durch Epoxidharz ist ebenfalls angeraten. Für genauen Ausgleich ist die Masse des zusätzlichen Klebers in die Gesamtmasse einzubeziehen.

Vorbereitung Kalibrierlauf

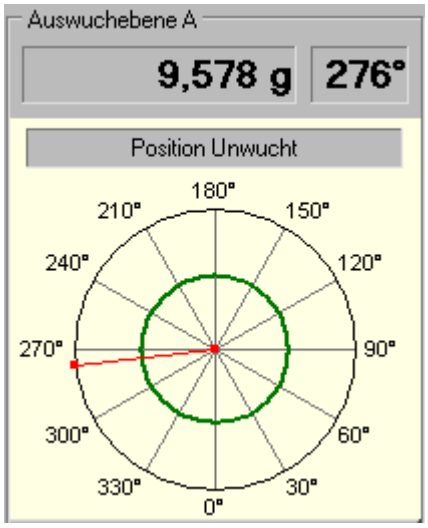
Nachdem man sich entschieden hat, ob Festorte verwendet werden oder nicht, wird die Kalibriermasse montiert. Es hat sich bei Versuchen an Ultraleichtflugzeugen ein Wert von ca. 1000 gmm bewährt. Das bedeutet als Beispiel: Bei einem Radius von ca. 100 mm werden 10 Gramm verwendet, bei einem Radius von 50 mm entsprechend 20 Gramm. Der Wert ist nur als Richtwert zu verstehen.



Die genaue Masse wird dann in den Kalibriereinstellungen der Software InnoBalancer mitgeteilt. Ebenso ist die Winkelposition zu vermerken. Der Winkel 0° wird nicht durch die Reflexionsmarke vorgegeben. Man ist bei der Wahl des Winkels absolut frei, kann z.B. den Winkel 0° auch auf die Position der Kalibriermasse legen. Bei allen Folgeversuchen muss man sich dann aber zwingend auf diese Position als 0° beziehen. Win-

kel werden immer ausgehend vom festgelegten Nullwinkel entgegen der Drehrichtung gezählt.

Durchführung Kalibrierlauf



Musste zur Montage der Kalibriermasse der Spinner entfernt werden, dann muss er für den Messlauf wieder angebaut werden. Alle Messläufe müssen mit den gleichen Aufbauten vorgenommen werden. Bei der Montage ist darauf zu achten, dass der Spinner auch wieder in der gleichen Weise montiert wird, also nicht 180° verdreht. Eine kleine Markierung an Spinner/Grundplatte ist dabei behilflich.

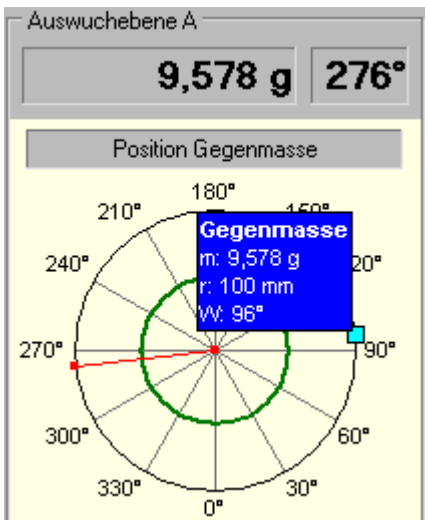
Die Durchführung der Messung gestaltet sich wie beim Urunwuchtlauf. Der Propeller ist auf eine konstante Drehzahl zu bringen und zwar auf die selbe wie beim Urunwuchtlauf. Der InnoBalancer erkennt die konstante Drehzahl, führt die Messung durch und fordert dann zum Stoppen des Propellers auf.

Mit diesen beiden Läufen sind Betrag und Winkelposition der Unwucht bestimmt worden. Sie werden nun im InnoBalancer angezeigt.

4.7. Der Ausgleich

Nachdem die Unwucht nun bekannt ist, soll der Ausgleich erfolgen. Dazu sind im InnoBalancer die Ausgleicheinstellungen zu aktivieren. Es stehen verschiedene Ausgleichmethoden zur Verfügung. Wir verwenden hier den Ausgleich durch das Ansetzen von Masse (Masse ++) auf der gegenüberliegenden Seite der Unwucht.

Wenn aus technologischen Gründen nur eine bestimmtes Höchstmaß an Masse angebracht werden kann, ist dies als maximale Masse einzugeben. Bei einem Ausgleich mit Festorten wird der InnoBalancer darauf hin die Gesamtmasse auf mehrere Festorte verteilen, so dass auf keiner Position die maximale Masse überschritten wird.



In der Anzeige wird nun die Position und der Betrag der anzubringenden Masse angezeigt. Voraussetzung ist eine Unwucht, die höher als die eingestellte Toleranz ist. Liegt die Unwucht innerhalb des vorgegebenen Toleranzringes, wird kein Ausgleichsvorschlag unterbreitet. Die Toleranz lässt sich bei den Rotoreinstellungen vorgeben.

Beim Propellerauswuchten sind 5 Gramm an der Grundplatte des Spinners (Radius ca. 100 mm) ein realistisches Ergebnis. Bei guten Messbedingungen lassen sich auch Ergebnisse von unter 1 Gramm erreichen.

Bei der Anbringung der Ausgleichmasse ist die Kalibriermasse zu entfernen. Die Position für die Ausgleichmasse ist - wie erwähnt - vom Nullwinkel aus entgegen der Drehrichtung zu zählen.

10 Gramm Kalibriermasse sind noch montiert.

Die Kalibriermasse wurde entfernt, die Ausgleichmasse im angegebenen Winkel entgegen der Drehrichtung montiert.

4.8. Der Kontrolllauf

Nach dem Ausgleich ist die Unwucht erneut zu überprüfen. Der Ablauf ist wieder gleich. Der Propeller ist auf eine konstante Drehzahl zu bringen und zwar auf die selbe wie beim Urunwuchtlauf. Der InnoBalancer erkennt die konstante Drehzahl, führt die Messung durch und fordert dann zum Stoppen des Propellers auf.

Die angezeigte Unwucht sollte sich nun maßgeblich verringert haben. Durch weitere Korrekturen kann die Unwucht schrittweise weiter verringert werden.

Um festzustellen, ob die gegebenen Messbedingungen noch eine weitere Reduktion der Unwucht zulassen, kann ein Kontrolllauf zwei- oder dreifach durchgeführt werden, ohne zwischendurch Ausgleichmassen anzubringen. Wenn die angezeigte Unwucht bei allen Messläufen ähnlich hoch und an ähnlicher Position angezeigt wird, ist eine weitere Reduktion möglich. Springt das Ergebnis unmotiviert umher, ist durch weiteren Ausgleich keine weitere Verbesserung mehr zu erwarten.